

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Терагерцовая оптоэлектроника

по направлению подготовки

03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки:

Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

И.А. Прудаев

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен производить анализ состояния научно-технической проблемы, технического задания, формулировать цель и задачи научного исследования в области радиофизики и электроники.

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Формулирует проблему и определяет предметную область исследования

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники

ИПК 3.2 Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- тесты;
- лабораторные работы;
- презентации на семинарах.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-1.1 (Формулирует проблему и определяет предметную область исследования), ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники), ИПК-3.2 (Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач).

Примерный перечень вопросов для самостоятельной работы студентов (тестов)

1. В каком диапазоне частот лежит терагерцовое излучение?
2. Где применяется терагерцовое излучение?
3. Какие из устройств генерации терагерцового излучения позволяют осуществлять непрерывную перестройку в широком диапазоне частот?
4. Является ли терагерцовое излучение ионизирующим; каковы свойства материалов в терагерцовом диапазоне частот?
5. В чем разница принципов работы фотоприемников и болометров?
6. В чем заключается основная сложность детектирования терагерцового излучения?
7. В чем заключается эффект Вавилова-Черенкова?
8. Какие методы детектирования терагерцового излучения обладают наиболее широкой частотной полосой?
9. На чем основан принцип импульсной терагерцовой спектроскопии (THz-TDS) во временном представлении и какие параметры полупроводниковых структур она позволяет определять?
10. Каковы спектральные особенности полупроводников в терагерцовом диапазоне частот?
11. В чем заключается эффект фотонного увлечения?
12. Какие существуют способы передачи данных с использованием терагерцовых технологий?
13. Какие методы увеличения эффективности генерации терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами существуют?
14. В каком из устройств генерации терагерцового излучения используется эффект генерации электромагнитного излучения поверхностью полупроводника; за счет чего

происходит генерация?

15. На какие три основных типа можно разделить источники терагерцового излучения?

16. Какое физическое явление называется плазмон и где оно применяется?

17. В чем заключается принцип работы терагерцового ближнепольного микроскопа?

18. Каковы перспективы развития устройств передачи данных терагерцового диапазона?

19. Возможно ли применение терагерцового излучения в голографии и томографии?

20. В чем отличие радиофотоники от радиоэлектроники?

Контрольные вопросы для лабораторных занятий:

«Экспериментальное исследование диэлектрических свойств полупроводниковых материалов в терагерцовом диапазоне частот»

1. Что такое комплексная диэлектрическая проницаемость?

2. Чем определяется диапазон частот и частотное разрешение импульсного терагерцового спектрометра?

3. Опишите принцип работы импульсного терагерцового спектрометра.

4. Какие нужно провести измерения для получения действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости с помощью импульсного терагерцового спектрометра?

5. Как провести расчет действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости на основе первичных данных?

6. Чем определяется коэффициент поглощения полупроводников в терагерцовом диапазоне частот?

«Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках методом pump-probe терагерцовой спектроскопии»

1. Что такое время жизни носителей заряда?

2. Какие механизмы рекомбинации в полупроводниках вы знаете?

3. Как зависит время жизни носителей заряда от уровня инжекции?

4. В чем заключается метод pump-probe терагерцовой спектроскопии?

5. Что измеряется в процессе измерения в методе pump-probe терагерцовой спектроскопии?

6. Как провести обработку первичных экспериментальных данных pump-probe терагерцовой спектроскопии для получения времени жизни носителей заряда?

Примерные темы семинарских занятий:

1. Применение терагерцовых методов в установках контроля различных объектов.

2. Схемы генерации и детектирования терагерцового излучения.

3. Схемы передачи данных с использованием излучения терагерцового диапазона.

4. Радиофотоника: общая характеристика.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-1.1 (Формулирует проблему и определяет предметную область

исследования), ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники).

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Терагерцовый диапазон на шкале частот электромагнитного излучения.
2. Основные свойства и применения терагерцового излучения.
3. СВЧ-методы генерации и детектирования терагерцового излучения. Гетеродинные приемники на диодах Шоттки.
4. СВЧ-методы генерации и детектирования терагерцового излучения. Лазер на свободных электронах.
5. Полупроводниковые устройства терагерцового диапазона. Диоды с барьером Шоттки и диоды Ганна.
6. Полупроводниковые устройства терагерцового диапазона. Квантово-каскадный лазер.
7. Полупроводниковые устройства терагерцового диапазона. Приемник на эффекте фотонного увлечения.
8. Нелинейно-оптические методы генерации терагерцового излучения
9. Оптические методы генерации терагерцового излучения. Генерация от поверхности полупроводников. Фотопроводящие дипольные антенны и фотомиксеры.
10. Оптические методы генерации и детектирования терагерцового излучения. Электрооптический детектор терагерцового излучения.
11. Оптические методы генерации и детектирования терагерцового излучения. Ячейка Голя.
12. Основные типы и схемы терагерцовых спектрометров.
13. Принципы импульсной терагерцовой спектроскопии (THz–TDS) во временном представлении.
14. Спектральные особенности полупроводников, композитных материалов и газовых сред в терагерцовом диапазоне частот.
15. Схемы фотонных приемников, модуляторов и передатчиков данных на терагерцовых несущих частотах.
16. Передача данных с использованием терагерцовых технологий. Параметры транзисторов и детекторов, принципы измерения.
17. Применения терагерцового излучения в системах безопасности, радиовидении и космологии.
18. Терагерцовая томография. Применения в медицине.
19. Плазмоника и терагерцовые сенсоры.
20. Ближнепольная терагерцовая наноскопия.
21. Терагерцовая спектроскопия. Методы «накачка-зонд». Вариант с оптической накачкой и зондированием за счет возбуждения и регистрации терагерцовой эмиссии
22. Свойства полупроводниковых структур в терагерцовом диапазоне частот. Эффект фотонного увлечения.
23. Определение радиофотоники.
24. Представление о радиофотонике. Применения в радиолокации. Перспективы развития

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче зачета.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-1 Способен производить анализ состояния научно-технической проблемы, технического задания, формулировать цель и задачи научного исследования в области радиофизики и электроники.	ИПК 1.1 Формулирует проблему и определяет предметную область исследования	Не имеет представления о типовых проблемных ситуациях при решении научно-исследовательских задач в области разработки устройств терагерцовой оптоэлектроники	Имеет представление о типовых проблемных ситуациях при решении научно-исследовательских задач в области разработки устройств терагерцовой оптоэлектроники, определяет предметную область
ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.	ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники	Не способен пояснить принцип действия устройств и систем терагерцовой оптоэлектроники	Понимает принципы действия устройств и систем терагерцовой оптоэлектроники, описывает их

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине

№	Вопрос	Варианты ответа
1	В каком диапазоне длин волн лежит терагерцовое излучение?	а) 3 мм-30 мкм; б) 250 нм – 1000 нм; в) 1 мм – 1 м.
2	Какое из устройств генерации терагерцового излучения (принцип которого основан на СВЧ-методе	а) диод Ганна; б) лампа обратной волны; в) квантово-каскадный лазер.

	генерации) является компактным и непрерывно перестраиваемым в широком диапазоне частот?	
3	За счёт каких носителей заряда создается ток в униполярном фотодиоде?	а) основных и неосновных; б) только неосновных; в) <i>только основных.</i>
4	На чем основано действие нелинейно-оптических детекторов терагерцового излучения?	а) <i>на регистрации суммарной или разностной частот, возникающих в нелинейно-оптическом кристалле при взаимодействии оптического лазерного и терагерцового излучения;</i> б) на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента вследствие нагревания под воздействием поглощаемого излучения; в) на фотоэлектрическом эффекте, заключающемся в возникновении электронного потока в результате передачи импульса от направленного потока фотонов электронам.
5	Какие параметры полупроводниковых структур можно определить, используя терагерцовые методы «накачка-зонд»?	а) <i>время жизни неравновесных носителей заряда;</i> б) высоту барьера Шоттки; в) эффективность сбора заряда.
6	Какой вид терагерцовой спектроскопии позволяет получить действительную и мнимую части комплексной диэлектрической проницаемости образца в одном измерении?	а) эмиссионная терагерцовая спектроскопия; б) ЛОВ-спектроскопия; в) <i>импульсная терагерцовая спектроскопия во временной области.</i>
7	В чем преимущество передачи данных с использованием терагерцовых технологий?	а) в увеличении спектральной эффективности каналов связи до десятков бит/с/Гц; б) <i>в увеличении скорости передачи данных в беспроводных линиях связи;</i> в) в малом ослаблении сигнала при распространении ТГц-излучения в атмосфере.
8	Что позволяют исследовать терагерцовые томографы?	а) <i>кожу, сосуды, мышцы на глубине до нескольких сантиметров;</i> б) кости, суставы и сухожилия; в) нервные окончания.
9	Какое из перечисленных утверждений не относится к фотонным радиосистемам?	а) фотонные системы не подвержены внешним электромагнитным полям; б) <i>фотонные системы обладают малой дальностью передачи сигнала по сравнению с радиоэлектронными;</i> в) фотонные системы обладают гораздо большей шириной полосы пропускания сигнала по сравнению с радиоэлектронными.
10	Какое из перечисленных устройств можно отнести к устройствам	а) болометр; б) <i>электрооптический СВЧ-модулятор на</i>

	радиофотоники?	<i>эффекте Штарка;</i> в) ПЗС-матрица.
--	----------------	---

Информация о разработчиках

Саркисов Сергей Юрьевич, кандидат физ.-мат. наук, Томский государственный университет, старший научный сотрудник.